

切削過程に於ける摩擦係数と切屑接触率に就いて

村 中 利 吉

高 辻 雄 三

The Relationship between the Coefficient of Friction and Contact Ratio on Cutting Process.

Rikiti MURANAKA

Yuzo TAKATUZI

Some investigators proposed that the coefficient of friction occurs due to the welding action and the shearing action at the tool-chip interface and the welded film thickness would be so thin that shearing action significantly was affected with the Size effect at this film gone.

In general the coefficient of friction is expressed by terms of modulus of rigidity, flow hardness and contact ratio. In the other hand the coefficient of friction was actually measured by the axial force and the tangential force measurement at the orthogonal cutting.

Then the contact ratio, that is, fraction of actual contact area to the apparent contact area was derived from the experimental result of the modulus of rigidity, the flow hardness and the coefficient at various conditions.

In this experiment cutting force was measured by the strain gauge method and modulus of rigidity was derived from twisting moment measuring method and the flow hardness was measured by the author's special apparatus.

From these experimental results it would be concluded that contact ratio would not be proportional to the coefficient of friction and its value would vary about 0.3~0.5.

1. 緒 言

今迄の各種の実験によつて切削過程に於けるバイト切削面上の摩擦係数が各種の作業条件、加熱温度、材質並びに刃物角度によつて、それぞれ異なる結果を生ずることが知られる。然れども如何なる理由によつてこの様に異なる結果を生ずるかは的確な論拠にとぼしい。⁽¹⁾ H・Block や K. J. Trigger 等が提唱する如く、バイトと切屑との接触面は相互の無数の小凸起の接触によつて構成され、切削過程に於いてはこれらの小凸起が切削力に基づく高温と高圧によつて融着されてバイト面上に極めて薄い融着層を生ずる。切削過程に於ける摩擦係数はこの融着層の剪断破壊によつて生ずるといわれている。従つて小凸起の数の大小が摩擦係数と関連することが予想される。凸起の数が即ち接触面であり、見かけの接触面と真の接触面との比 $\frac{A_r}{A} = K$ とし、これを接触率と名付けると、K の値の大小によつて摩擦係数が左右されることが推測される。本実験は各種の作業条件、材質、加熱温度並びに刃物角度が K の値や摩擦係数に如何に影響するかを究明する為に行うものである。

2. 基礎算式

二次元切削による摩擦係数は主分力、背分力及び掬角を測定すれば次の式によつて計算される。

$$\mu = \frac{F_t + F_c \tan \alpha}{F_c - F_t \tan \alpha} \dots\dots\dots (1)$$

バイト面上に作用する切削力が剪断応力として働き、この力がバイト面に作用する有効支持応力に対応するものであるから、次の関係式が成り立つ

$$\tau A_r = \frac{G}{2\pi} A_r = \mu \sigma_y A$$

$$\therefore \frac{A_r}{A} = \mu \frac{2\pi \sigma_y}{G} = K \dots\dots\dots (2)$$

但し上式中 F_c = 主分力

F_t = 背分力

α = 掬角

τ = 剪断応力

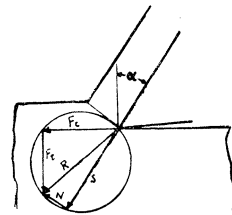
σ_y = 流れ硬度

G = 剪断弾性係数

A = 見かけの接触面積

A_r = 真の接触面積

μ = 摩擦係数



(図一1 切削力関係図)

(2) 式は切屑とバイトとの融着層が 1μ 以下の薄い層については成り立つが、層厚がそれ以上になるとそのまま適用されない。⁽³⁾ K. J. Trigger, B. T. Chao の報告によるとこの厚さは 5μ 程度になっている。⁽⁴⁾ W. R. Backer, F. R. Marshall, M. C. Shaw の *sige effect* に関する論文に於いて剪断エネルギーは剪断応力に比例し、しかも試片の深さが深くなると急激に減少することを示している。今彼等の資料に基づいて 5μ の深さに対応する剪断応力と 1μ 以下の場合の剪断応力との割合を求めてみると約 0.133 位になる。この値を (2) 式に代入して補正すると、

$$K = \frac{\mu 2\pi \sigma_y}{G} \times \frac{1}{0.133} = \frac{47.2\mu \sigma_y}{G} \dots\dots\dots (3)$$

σ_y , G の値は接触面の温度によつて変化するものであるから、これらは実験によつて求める方が妥当である。

3. 実験概要

実験は加熱温度に対する材料の剪断弾性係数及び硬度の測定と、切前面積、切前速度、 $\frac{\text{切込}}{\text{送り}} = n$ 等の作業条件、材質、加熱温度及び刃物掬角の変化に対応する切削力の測定との 2 つの分野にわたる。

剪断弾性係数の測定は P. H. Kaar ⁽⁵⁾ の提唱による振りモーメントより剪断応力と剪断歪曲線を求める方法によつたもので、試料は 0.26% C の炭素鋼であり実験の要領は富山大学紀要第 6 巻 p. 101 による。

高温硬度の測定はロックウェル硬度計の改製による特殊の方法 ⁽⁶⁾ を用いたもので試料は同じく 0.26 % C の炭素鋼である。装置の詳細は別紙高温硬さの測定法に譲る。流れ硬度 σ_y の値は M. C. Shaw, ⁽⁷⁾ S. O. Dirke によるブリネル硬度値の $\frac{1}{2}$ に相当するとの説に従つて求めることとする。

切前面積と切削力との関係に於いては送りを変化せしめ、切込は 2.5mm の一定とし、切削速度は 35m/min, 又 n と切削力との関係は切前面積を 0.4mm^2 , 切削速度は 35m/min の一定値とし

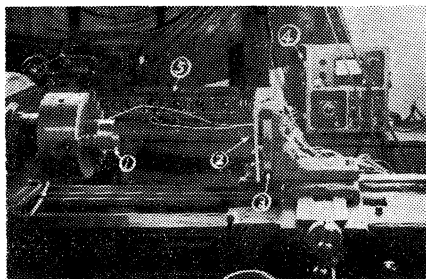


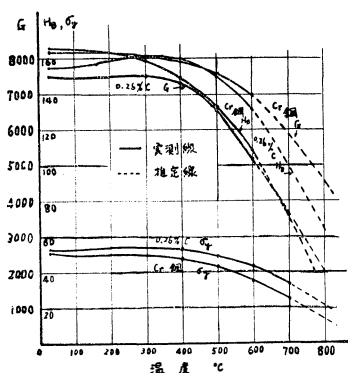
写真-1

- ①被削材 ②バイト ③円板型動力計
④抵抗線歪形 ⑤電磁オシログラフ

又材質の変化に対応する切削力の関係については改めて実験は行わなかったが、この点に関しては既往の資料に基づくこととした。切削力測定機は抵抗線歪形を利用した円板型の自製試験機により行い、その概要は写真-1に示す如きものである又被削材の加熱は酸素アセチレン焰による。

4. 実験結果

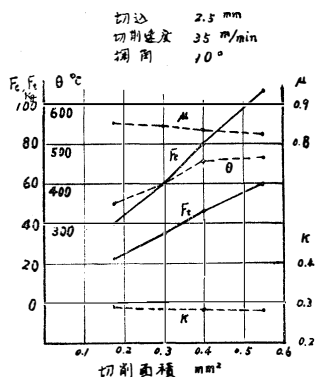
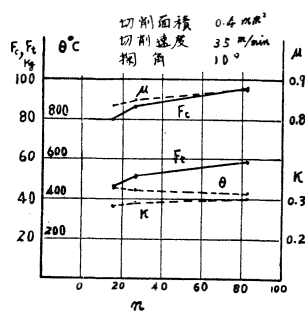
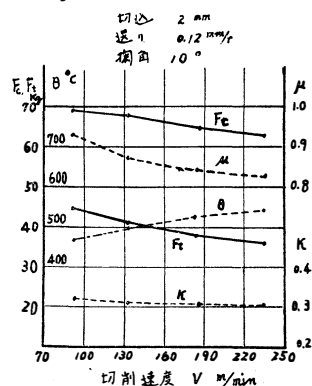
高温に於ける剪断弾性係数 G 、硬度 H_B 並びに流れ硬度 σ_y を実測した結果は図-2の通りである。図に於いて硬度は 700°C 迄、剪断弾性係数は 600°C 迄実測したものでそれ以上は推定曲線である。

(図-2 高温に於ける H_B , G , ρ_y 曲線)

図によると G の値は 0.26% C の炭素鋼に於いては 300°C を超えると急激にその値を減少し、クロム鋼の如きは 400°C 以上になると始めて急減してくる。 σ_y は何れも 400°C 以上に於いて減少するが、 G の減少の度合よりは緩慢である。

G/σ_y の値は常温より高温に於いて寧ろ減少する故に切削過程に於ける摩擦係数の算定に際しては切屑接触面の温度に対応する $\frac{G}{\sigma_y}$ の値を用いなければならない。

切削面積の変化に対応する摩擦係数 μ 、接触率 K の変化は図-3の通りである。図によると切屑速度の余り高くなく且つ切削面積の比較的小さい場合には $\frac{G}{\sigma_y}$ が大体一定であるから

図-3 切削面積に対応する F_c , F_t , μ , K 曲線図-4 n の変化に対応する F_c , F_t , μ , K 曲線図-5 切削速度に対応する F_c , F_t , μ , K 曲線

た。切削速度と切削力との関係に於いては切込 2mm 、送り 0.12mm/r の一定値を選んだ。何れの場合もバイトは S_2 超硬バイトを用い、前角 10° 、前逃角 4° とした。又前角と切削力との関係は切込 2.5mm 、送り 0.12mm/r 、切削速度 35m/min の一定値とし、 S_2 超硬バイトを使用した。加熱温度と切削力との関係に於いても切込 2mm 、送り 0.12mm/r 、切削速度 35m/min とし、バイトは超硬バイト S_2 を選び前角 10° 、前逃角 4° を用いた。以上の各実験の被削材は何れも 0.26% C の炭素鋼である。

又材質の変化に対応する切削力の関係については改めて実験は行わなかったが、この点に関しては既往の資料に基づくこととした。

摩擦係数と接触率は同様の傾向をたどり切削面積の増加に伴つて減少する。

又 $\frac{\text{切込}}{\text{送り}} = n$ の変化に対応する摩擦係数 μ 及び接触率 K の変化の状況は 図-4 に示す如くである。図によると n の小なる時、換言すると送りが切込に対して大きい場合は摩擦係数 μ 接触率 K 共小さく n が大きくなるにつれて之等の値が大きくなる。且つ図-3 の場合も図-4 の場合も μ と K は既ね正比例的に増減している。これは刃先温度が比較的低温 400°C 前後である為めに $\frac{\sigma_y}{G}$ の値はほぼ一定の値をとることによる。

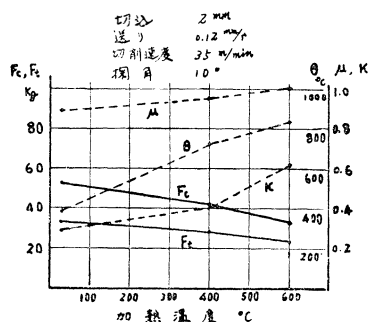


図-7 加熱温度に対応する F_c, F_t, μ, K 曲線

切削速度の変化に対応する μ, K の状況は図-5 に示す如くである。図によると μ も K も切削速度の上昇に伴つて減少するが、その減少の傾向は μ よりも K の方が緩慢である。これは刃先温度は切削速度が極めて大きくなると 550°C 位となり、この温度に於ける $\frac{\sigma_y}{G}$ の値が漸次大きくなる為めである。

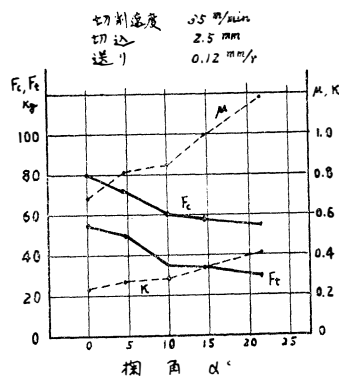


図-7 掬角変化に対応する F_c, F_t, μ, K 曲線

被削材を加熱して高温切削を行った場合の摩擦係数 μ 、接触率 K の変化の状況は図-6 に示す如くである。図によると加熱温度が高くなると μ も K も共に増加するが K の増加率が極めて著しく大きくなる。

更にバイトの掬角変化に対応する μ, K の状況を求めると 図-7 の如くなる。図によると掬角の増加に伴つて μ, K は何れも急激に増加し、且つ両者の関係はほぼ比例する。掬角が増加すると剪断角が漸次増加してくることは実験によつて知られているところである。一方剪断歪は

$$\varepsilon = \cot \phi + \tan (\phi - \alpha) \dots \dots \dots (4)$$

但し ε = 剪断歪

ϕ = 剪断角

(4) 式に示す如く ϕ 及び α の増加に伴なつて逆に減少する。従つて前断応力も減少し、その結果切削力が減少することは当然である。一方 (2) 式に於いて切削力の減少と掬角の増加の為に摩擦係数 μ は急激に増加する。又実験の作業条件の範囲に於いては刃先温度は概ね 400°C 前後にあるので、その温度変化に対する σ_y/G の値はほぼ一定である故 K は μ にほぼ比例することが解される。

次に材質変化に対して μ, K は如何なる状況を示すかを比較すると 表-1 の如くなる。表-1 中低炭素鋼は $0.26\% \text{C}$ であり、クローム鋼は C が 1.05% 、 Cr が 1.45% の高炭素低クローム軸受鋼で十分に焼鈍を施したものである。

材 表	主分力 F_c	背分力 F_t	掬 角 α	σ_y/G	摩擦係数	接触率 κ
低炭素鋼	53	33	10°	0.00706	0.89	0.296
クローム鋼	86	45	10°	0.00607	0.77	0.220

表-1 材質の変化に対応する μ, K の値

減少の度合いが大きい。クローム鋼は低炭素鋼に比して剪断角が小さく従つて剪断歪は大きい。且つ剪断応力も大きくなつて切削力は大きくなる。一方 $\frac{\sigma_y}{G}$ はクローム鋼が低炭素鋼に比して小さく、その結果 K は μ に比して減少の度合いが大きくなるものと考えられる。

表-1 によるとクローム鋼の方が低炭素鋼に比して摩擦係数及び接触率共に小さい。しかも K の方が μ よりも

5. 結 論

以上の実験結果を総括すると次の如く言える。

- (1) 摩擦係数 μ 及び接触率 K は作業条件, 加熱温度, 材質並びに刃物の ϕ 角によつて大きく左右される。特に ϕ 角及び加熱温度の影響が大きい。
- (2) 送りと切削速度の増加は μ を減少させ, K をもやや減少させるがその変化は小さい。
- (3) 加熱温度が高くなると切屑接触面の温度が異常に高くなるために μ 特に K の増加が大きい。
- (4) ϕ 角が大きくなると μ も K も急激に増加してくる。
- (5) 強靱なクローム鋼の如き材質程 μ も K も減少する。
- (6) 常温切削の範囲に於いては K の値は ϕ 角 10° 以内ならば概ね 0.3 以下である。

以上の結果に対しては2つの点に尚お今後の問題がある。即ち融着層の厚さと剪断弾性係数がそれである。本文に於いては層厚は一応 5μ 以内と仮定したが, これは尚お検討の余地がある。更らに融着層の剪断弾性係数は一応被削材の値を以て計算を進めたが, 融着層はバイト材と被削材との合成材によつて構成されているものと考えられるので被削材の剪断弾性係数をとることは必ずしも正当とは考えられない。然し現在のところこの様な合成材の剪断弾性係数を測定することは不可能であつて今後の研究にまつ可きである。

参 考 文 献

1. H. Blok : Theoretical Study of Temperature rise at Surface of Actual Contact under oiliness Lubricating Conditions. Group IV properties and Testing. p. 222.
2. 3. K. J. Trigger and B. T. Chao : The Mechanism of Crater wear of cemented Carbide Tools. Trans of the A. S. M. E. vol 78. p p 1119~1123
4. W. R. Packer, F. R. Marshall and. M. C. Shaw : The Size Effect in Metal Cutting. Trans of the A. S. M. E. January 1952 pp 68~69
5. P. H. Kaar : A Method of Obtaining Shear Stress—Strain Graphs by interpretation of Moment-Twist Data. Trans of the A. S. M. E. May 1953
6. 村中 : 高温硬さの測定法, 金属, 8 月 1955年 p. 609
7. M. C. Shaw and S. D. Dirks : On the wear of Cutting Tools. Microtechnic vol X, No4 p—189
8. 村中 : 高温切削に関する研究 第5報
富山大学工学部紀要 第6巻 p. 126